



ANALISIS KESTABILAN *HEAP LEACH PAD* BERDASARKAN JUMLAH MATERIAL YANG DAPAT DITAMPUNG PADA PROJEK TAMBANG XX, JAWA BARAT

Heap Leach Pad Stability Analysis based on the amount of material that can be accommodated at Mining Project XX, West Java

SUPARDI RAZAK¹, DEWI AYU KUSUMANINGSIH¹

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Islam Negeris Syarif Hidayatullah Jakarta,
Korespondensi Email: supardi.razak@uinjkt.ac.id, dewi.ayu@uinjkt.ac.id

ABSTRAK

Projek tambang XX merupakan salah satu perusahaan tambang emas di Indonesia yang menggunakan metode *heap leaching* untuk memisahkan emas dari batuan lainnya. Namun ternyata timbunan *heap leaching* ini memiliki kapasitas daya tampung maksimal dengan jumlah volume 14000 m³. Untuk memperoleh desain lereng yang optimal dari suatu kondisi lereng terkini pada rencana lokasi *Heap Leach Pad* di Projek tambang XX sehingga dapat ditentukan dengan pasti penyebab kelongsoran timbunan ini, maka dilakukan analisis geoteknik yang mengacu pada Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Pada penelitian kali ini, dilakukan analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan langsung dari Projek tambang XX dan data uji Laboratorium. Uji yang dilakukan di Laboratorium yaitu untuk menentukan nilai densitas batuan serta uji kuat geser untuk menentukan nilai sudut geser dalam dan kohesi batuan. Pada permodelan lereng, kondisi tekanan air diasumsikan bernilai maksimum dan lereng timbunan *heap leaching* ini tersusun dari soil dan propilitik. Dari hasil analisis didapatkan bahwa lereng berada pada kondisi tidak stabil saat kapasitas timbunan *heap leaching* 11000 m³. Sehingga perlu dilakukan penanganan yaitu memberikan rekomendasi dengan mengurangi ketinggian lereng yang semula 1 meter menjadi 0,5 meter.

Kata Kunci: *Heap Leaching*, Kestabilan Lereng, Metode Kesetimbangan Batas

ABSTRACT

The XX mining project is one of the gold mining companies in Indonesia that uses the heap leaching method to separate gold from other rocks. But it turns out that this heap leaching pile has a maximum capacity with a total volume of 14000 m³. In order to obtain an optimal slope design from a current slope condition on the planned location of the Heap Leach Pad in the XX mining project so that the cause of the heap failure can be determined with certainty, a geotechnical analysis was carried out referring to the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources Number 1827 K/30/MEM/2018. In this study, slope

Published By:

Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

Address:

Jl. Kapt. Piere Tendean, No. 109, Baruga, Kota
Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara

Article History:

Submited 27 Maret 2023
Received in form 27 Maret 2023
Accepted 03 April 2023

Licensed By:

Creative Commons Attribution 4.0 International License.

How to Cite:

Razak, S., Kusumaningsih, D. A. 2023. Analisis Kestabilan *Heap Leach Pad* Berdasarkan Jumlah Material Yang Dapat Ditampung Pada Projek Tambang Xx, Jawa Barat. *Mining Science and Technology Journal*, 2 (1): 39-53.

Razak, S., Kusumaningsih, D. A. 2023. *Heap Leach Pad Stability Analysis based on the amount of material that can be accommodated at Mining Project XX, West Java. Mining Science and Technology Journal*, 2 (1): 39-53.



stability analysis was carried out using the boundary equilibrium method. The data used is secondary data obtained directly from the XX mining project and laboratory test data. Tests carried out in the laboratory are to determine the value of rock density and shear strength test to determine the value of the inner shear angle and rock cohesion. In the slope modeling, the condition of water pressure is assumed to be maximum and the slope of the heap leaching pile is composed of soil and propylene. From the results of the analysis it was found that the slope was in an unstable condition when the heap leaching capacity was 11000 m³. So it needs to be handled, namely providing recommendations by reducing the height of the slope which was originally 1 meter to 0.5 meters.

Keywords: Heap Leaching, Slope Stability, Boundary Equilibrium Method

PENDAHULUAN

Mining Block Test (MBT) merupakan metode pengujian penambangan untuk permodelan cadangan ke dalam bentuk penampang *block by block* yang dituangkan dalam model 2 dimensi atau model 3 dimensi. Metode ini digunakan untuk melakukan analisis dan melihat sebaran cadangan mineral serta *overburden* secara *block by block*, *section by section*, dan *elevation by elevation*, sehingga dapat dilakukan estimasi jumlah mineral pada setiap *range* elevasinya. *Mining Block Test* adalah dasar dalam melakukan suatu perencanaan produksi terutama dalam melakukan simulasi *scheduling* untuk menentukan waktu mulai diproduksi emas hingga *mine out*, selanjutnya hal ini akan berpengaruh kepada laju aliran dana (*cash flow*) penambangan (Abramson, Lee, Sharma & Boyce, 2001). *Heap Leach* adalah metode pemurnian emas non-merkuri. Metode ini dilakukan dengan penyemprotan senyawa sianida secara terus-menerus pada mineral mengandung emas yang telah ditempatkan pada area khusus. Metode pemurnian ini ditumpuk dalam satu area hingga berbentuk seperti timbunan. Timbunan pelindian terdiri dari fasilitas berjajar dimana bijih ditempatkan, baik menggunakan pengangkutan truk atau metode penempatan konveyor. (Karyono, Ir., MT., 2004.)

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah analisis data secara langsung dilapangan baik pengamatan langsung maupun tidak langsung yang dilakukan di lokasi Proyek tambang XX yang berlokasi di Provinsi Jawa Barat. Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mulai dari tahap interview, dokumentasi, observasi lapangan, hingga studi pustaka. Setelah data terkumpul langkah selanjutnya adalah analisis data melalui uji laboratorium. Pengujian yang dilakukan dilaboratorium yaitu pengujian sifat fisik, pengujian kuat tekan uniaksial, dan uji kuat geser langsung. Dalam pengujian sifat fisik diperoleh hasil antara lain bobot isi, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas, dan angka pori. Uji kuat tekan uniaksial dilakukan untuk menentukan nilai kuat tekan batuan (σ_c), *Modulus Young* (E) dan *Poisson's ratio* (ν) dari kurva tegangan-regangan (Dzakir, 2021). Uji geser langsung adalah pengujian yang dilakukan untuk memperoleh nilai kuat geser batuan pada kondisi tegangan normal yang berbeda. Data tersebut kemudian diolah agar diperoleh nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ). Kedua parameter ini yang akan digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng. Uji kesesuaian distribusi data dilakukan pada parameter densitas, kohesi, dan sudut gesek dalam. Dari pengujian ini diketahui bahwa sudut gesek dalam memiliki distribusi normal sedangkan kohesi dan densitas memiliki jenis distribusi gamma. Selain jenis distribusi data, parameter statistik lain yang didapatkan yaitu nilai rata-rata dan nilai standar deviasi. Parameter statistik ini yang nantinya akan digunakan sebagai parameter masukan dalam analisis probabilitas kestabilan lereng. Selanjutnya adalah tahapan *Boundary* Lereng. Setelah data berhasil dikumpulkan, kemudian disiapkan komputer dan perangkat lunak komputasi geoteknik untuk menganalisis lereng *Heap Leach Pad* menggunakan metode *Morgenstern-Price* (MP) yang merupakan bagian dari pendekatan *Limit Equilibrium Method* (LEM). Pengolahan data dilakukan dengan memperhatikan sifat fisik dan sifat mekanik dari tanah dan batuan. Data sifat fisik dan mekanik yang dibutuhkan untuk dimasukkan ke dalam komputasi yaitu Nilai Material Properties *Generalized Hoek-Brown* dan Nilai Material

Properties *Mohr-Coulomb*.selanjutnya adalah penentuan Metode Kelongsoran pada Lereng. Penentuan metode kelongsoran lereng ditentukan oleh letak lereng. Pada lereng *Heap Leach Pad*, dilakukan metode *circular* dan dilakukan metode *non-circular*. Dan analisis data terakhir adalah Interpretasi Nilai Faktor Keamanan Lereng. Hasil interpretasi akan diperlihatkan nilai faktor keamanan pada lereng tersebut. Tinjauan secara umum, nilai FK acuan dalam penelitian ini yaitu FK Dinamis 1,1 sesuai dengan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. (Menteri ESDM RI, 2018).

Judul bab (huruf kapital) dan sub bab di ketik dengan huruf kapital pada awal kata, jenis *font Square721 BT*, ukuran huruf 10-*point* dan *align* teks menggunakan rata kiri. Sedangkan isi dari Judul bab diketik dengan jarak 1 spasi, jenis *font Square721 BT*, ukuran huruf 10-*point* dan *align* teks menggunakan rata kiri dan kanan (*normal justify*).

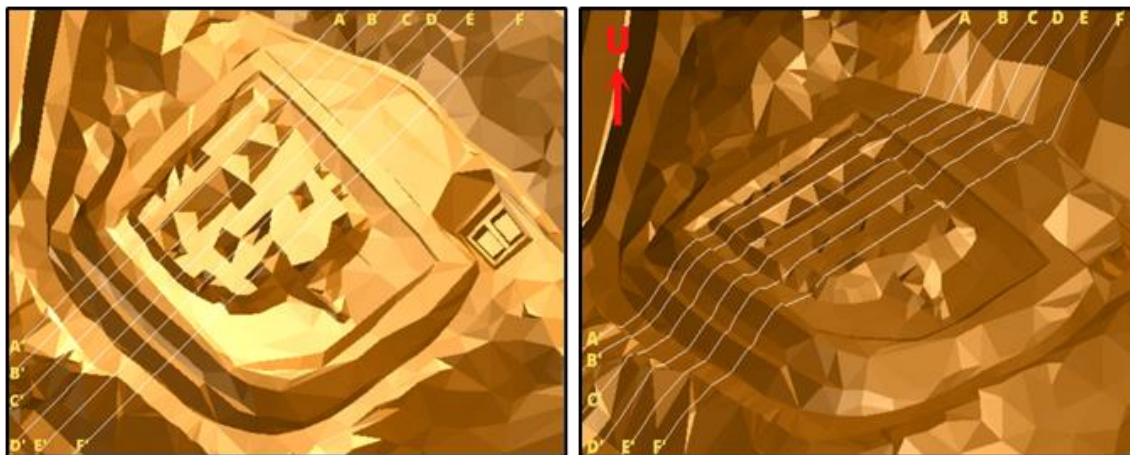
Gambar dan Tabel

Gambar harus memiliki resolusi minimum 200 dpi (*dot per inch*) agar jelas dan mudah dibaca. Keterangan gambar diletakan di tengah dan sumber gambar rata kiri (tepat dibawah gambar). Begitujuga dengan Tabel, Tabel diletakan di tengah dengan *align* teks menggunakan rata kiri dan kanan. Keterangan tabel diletakan pada posisi rata kiri. Tabel tidak dibuat berupa gambar (karena sulit di*edit*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometri Lereng *Heap Leach Pad*

Penelitian dilakukan pada lereng *Heap Leach Pad* yang berlokasi di Arinem – Bantarhuni, Papandayan, kecamatan Cisewu, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat. Dibuat 6 sayatan lurus berarah timur laut – barat daya (NE-SW) untuk mempermudah mengetahui dari kondisi lereng tersebut dalam 3 dimensi.



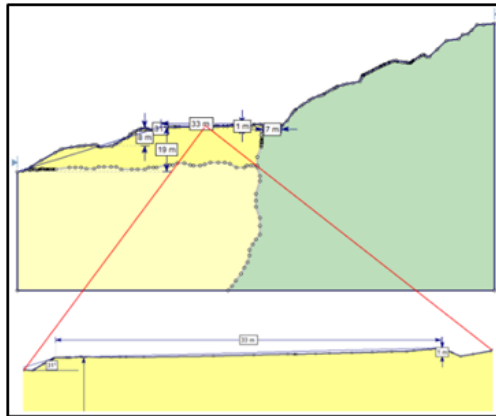
(a). Sayatan NE – SW pada Peta Topografi Aktual Tampak Atas

(b). Sayatan NE – SW pada Peta Topografi Aktual Tampak Samping

Gambar 1. Sayatan NE – SW pada Peta Topografi Aktual *Heap Leach Pad* Arinem

Sayatan A – A'

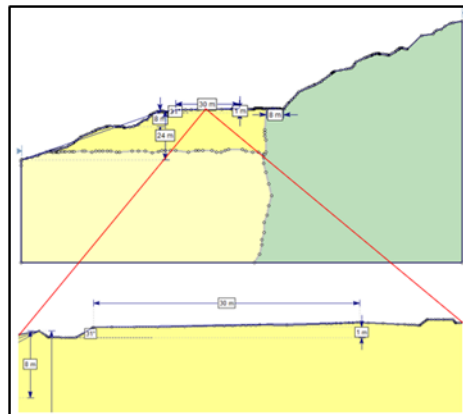
Sayatan A – A' dengan slope asli 31° memiliki lebar bagian atas Pad sebesar 33 m dan posisi Pad berada 8 m lebih tinggi dari area hauling road. Posisi Pad juga berada pada ketinggian 19 m dari batas akhir bawah lereng. Permodelan lereng sayatan A-A' diinterpretasikan sebagai berikut.



Gambar 2. Model Lereng Sayatan A – A'

Sayatan B – B'

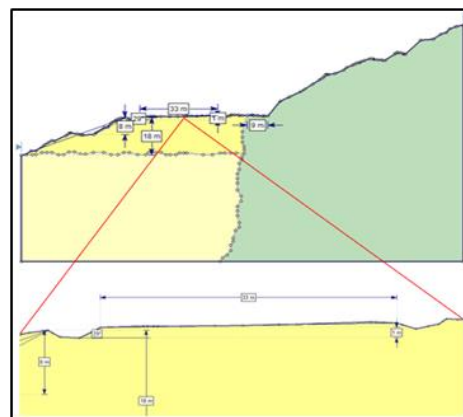
Sayatan B-B' dengan slope asli 31° memiliki lebar bagian atas *Pad* sebesar 30 m dan posisi *Pad* berada 8 m lebih tinggi dari area *hauling road*. Posisi *Pad* juga berada pada ketinggian 24 m dari batas akhir bawah lereng. Permodelan lereng sayatan B-B' diinterpretasikan sebagai berikut :



Gambar 3 Model Lereng Sayatan B – B'

Sayatan C – C'

Sayatan C-C' dengan slope asli 29° memiliki lebar bagian atas *Pad* sebesar 33 m dan posisi *Pad* berada 8 m lebih tinggi dari area *hauling road*. Posisi *Pad* juga berada pada ketinggian 18 m dari batas akhir bawah lereng. Permodelan lereng sayatan C-C' diinterpretasikan sebagai berikut :



Gambar 4 Model Lereng Sayatan C – C'

Parameter Sifat Fisik dan Mekanik

Berdasarkan hasil uji laboratorium diketahui bahwa parameter – parameter yang digunakan untuk menentukan pemodelan geoteknik memiliki nilai yang berbeda – beda. Pada lereng *Heap Leach Pad*, material yang berada pada lapisan tersebut adalah Soil dan Propilitik. Sifat fisik dan mekanik material pada lereng *Heap Leach Pad* dapat dilihat pada tabel 1. Kriteria keruntuhan yang digunakan pada lapisan propilitik yaitu kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*. Berdasarkan kriteria *Generalized Hoek-Brown*, parameter yang digunakan pada analisis yaitu nilai *Natural Density*, *Uniaxial Compressive Strength* (UCS), *Geological Strength Index* (GSI), dan *Intact Rock Constant* (m_i) didapatkan dari data Proyek tambang XX.

Tabel 1. *Strength Type Generalized Hoek - Brown*

Material	σ_{ci} (kPa)	GSI	Intack Rock Constant m_i	mb	s	a	ρ_n (kN/m ³)
Propilitik	23109	65	7	1.02 3	0.0062 7	0.50 2	24.74

(Sumber : Laporan Feasibility Study Proyek Tambang XX, 2013)

Keterangan :

mb : Nilai Pengurangan (massa batuan) dari konstanta m_i (untuk *intact rock*).

M : Nilai Konstanta Material *Intact Rock*

s dan α : Nilai Konstanta Material *Intact Rock*

σ_{ci} : *Uniaxial compressive strength* (UCS) dari *intact rock* material (kPa).

σ_1' : Tekanan efektif mayor / nilai *Generalized Hoek - Brown*

GSI : Kriteria penilaian dari observasi geologi di lapangan.

ρ_n : Berat isi material alami / asli (kN/m³)

Kriteria keruntuhan yang digunakan pada lapisan soil yaitu kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*. Berdasarkan kriteria *Mohr-Coulomb*, parameter yang digunakan pada analisis yaitu nilai *Cohesi* (c), Sudut Geser Dalam (ϕ), dan *Natural Density* (ρ_n) didapatkan dari data Proyek tambang XX.

Tabel 2. *Strength Type Mohr-Coulomb Material Timbunan*

Material	c (kN/m ²)	ϕ (...°)	ρ_n (kN/m ³)	τ_f (kPa)
Soil A	33.32	33.96	18.95	89.79
Soil B	33.42	35.61	19.06	109.31

(Sumber : Laporan Feasibility Study Proyek Tambang XX, 2013)

Tabel 3. *Strength Type Mohr Coulomb Intact Rock*

Material	c (kN/m ²)	ϕ (...°)	ρ_n (kN/m ³)
Soil A	36.22	36.92	18.95
Soil B	36.33	38.71	19.06

(Sumber : Laporan Feasibility Study Proyek Tambang XX, 2013).

Keterangan :

c : Nilai Kohesi (kN/m²)

ϕ : Nilai Sudut Geser Dalam (...°)

τ_f : Nilai Tegangan geser maksimum/nilai *Mohr-Coulomb* (kPa)
 ρ_n : Berat isi material alami/asli (kN/m³)

Perhitungan Nilai Material Properties pada teori Keruntuhan *Generalized Hoek - Brown*. Nilai m_b

Nilai m_b merupakan nilai pengurangan dari m_i konstan material. Pada analisis ini parameter *Disturbance Factor* (D) diperoleh sebesar 0.7 karena pada kegiatan penggalian dengan metode *ripping*. Maka dari itu nilai m_b yang diperoleh pada lapisan propilitik yang dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m_b &= m_i \exp \left[\frac{GSI-100}{28-14D} \right] \\ m_b \text{ Propilitik} &= m_i \exp \left[\frac{GSI-100}{28-14D} \right] \\ &= 7 \exp \left[\frac{65-100}{28-14(0.7)} \right] \\ &= 1,0231 \end{aligned}$$

Nilai s

Nilai s merupakan nilai material konstan dari Teori Keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*. Maka dari itu nilai s yang diperoleh pada lapisan propilitik yang dihitung menggunakan persamaan 2 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} s &= \exp \left[\frac{GSI-100}{9-3D} \right] \\ s \text{ Propilitik} &= \exp \left[\frac{65-100}{9-3(0.7)} \right] \\ &= \exp \left[\frac{65-100}{9-3(0.7)} \right] \\ &= 0.00626696 \end{aligned}$$

Nilai a

Nilai a merupakan nilai konstanta karakteristik dari teori keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*. Maka dari itu nilai a yang diperoleh pada lapisan propilitik yang dihitung menggunakan persamaan 3 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right] \\ a \text{ Propilitik} &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-\frac{65}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right] \\ &= 0.501975 \end{aligned}$$

Nilai kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown*

Setelah didapatkan nilai m_b , s, dan a, selanjutnya perhitungan diolah menggunakan Persamaan 4. Untuk mendapatkan nilai pada masing-masing material. Berikut ini adalah perhitungan dari Kriteria Keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* :

$$\begin{aligned} \sigma'_1 &= \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \\ &= 6900 \text{ kPa} + 23109 \text{ kPa} \left[1,0231 \frac{6900 \text{ kPa}}{23109 \text{ kPa}} + 0.0062 \right]^{0.50} \\ &= 19801,41093 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Perhitungan Nilai *Material Properties* Teori Keruntuhan *Mohr-Coulomb*.

Dalam menganalisis sebuah lereng dengan tipe keruntuhan *Mohr-Coulomb* digunakan untuk material Soil A dan Soil B. Maka dari itu nilai Tegangan geser maksimum/nilai *Mohr-Coulomb* (kPa) yang diperoleh pada lapisan Soil A dan Soil B yang dihitung menggunakan persamaan 5 sebagai berikut :

Soil A

$$\begin{aligned}\tau &= C + \mu\sigma \\ \tau &= 33.32 \text{ kN/m}^2 + 90.38 \text{ kPa} \tan 32^\circ \\ \tau &= 89.79 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Soil B

$$\begin{aligned}\tau &= C + \mu\sigma \\ \tau &= 33.42 \text{ kN/m}^2 + 121.46 \text{ kPa} \tan 32^\circ \\ \tau &= 109.31 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Parameter Pelengkap Analisis Lereng

Dalam menganalisis kestabilan sebuah lereng perlu juga adanya faktor pembebanan alat berat dan muatan *Heap Leach Pad* yang berada pada lereng tersebut (*Distribution Load*) dan Gempa lokal yang terjadi pada wilayah tersebut (*Seismic Load*).

Distribution Load

Distribution Load adalah Faktor pembebanan yang diberikan alat berat yang sedang bekerja pada lereng tersebut dan muatan *Heap Leach Pad*. Pada Proyek tambang XX, Jawa Barat memakai alat loader dengan tipe Komatsu PC 200-7 yang memiliki nilai *Ground Pressure* sebesar 45.09171 kN/m².

Distribution Load Aktual

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan kapasitas *Heap Leach Pad*. Secara aktual pada bulan Oktober 2022 jumlah muatan yang tertampung di Area *Heap Leach Pad* sebesar 5000 m³ maka jika dihitung menggunakan rumus Tonase diperoleh sebagai berikut.

$$\text{Tonase} = V \times D$$

Keterangan :

V = Volume (m³)

D = Densitas (kg/m³)

$$\begin{aligned}\text{Tonase Aktual} &= 5000 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ kg/m}^3 \\ &= 8000 \text{ ton}\end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah tonase aktual maka langkah selanjutnya yaitu merubah nilai tonase tersebut menjadi tekanan. Adapun rumus tekanan, yaitu :

$$p = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

p = tekanan (N/m² atau Pa).

F = Gaya tekan (N).

A = Luas permukaan (m²)

Rumus tekanan jika diketahui massa benda :

$$p = \frac{m \cdot g}{A}$$

Keterangan :

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

A = luas permukaan (m²)

Maka dari itu nilai tekanan yang diperoleh dari kondisi aktual sebagai berikut.

$$P_{\text{aktual}} = \frac{m \cdot g}{A}$$
$$P_{\text{aktual}} = \frac{8000000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2}{1600.02 \text{ m}^2}$$
$$P_{\text{aktual}} = 48999.39 \text{ N/m}^2 = 49.00 \text{ kN/m}^2$$

Setelah itu jumlahkan Tekanan Aktual yang didapat dengan Beban Alat Excavator (kN/m^2) sebagai nilai *Distribution Load* yang dijadikan parameter *input* pada *Rocscience Slide*. Maka nilai *Distribution Load* yang diperoleh pada kondisi aktual adalah :

$$\begin{aligned} \text{Distribution Load} &= \text{Tekanan (kN/m}^2\text{)} + \text{Beban Alat (kN/m}^2\text{)} \\ &= 49.00 \text{ kN/m}^2 + 45.09 \text{ kN/m}^2 \\ &= 94.09 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka jumlah nilai *Distribution Load* pada kondisi Aktual sebesar 94.09 kN/m^2 .

Distribution Load Simulasi

Pada tahap ini *Distribution Load* disimulasikan dengan beberapa jumlah volume diatas kondisi aktual nya untuk mengetahui jumlah kapasitas maksimum dari *Heap Leach Pad* tersebut.

Simulasi 1

Pada simulasi 1 diasumsikan jumlah muatan yang tertampung di Area *Heap Leach Pad* sebesar 10000 m^3 maka jika dihitung menggunakan rumus Tonase diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tonase Aktual} &= 10000 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ kg/m}^3 \\ &= 16000 \text{ ton} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah tonase maka langkah selanjutnya yaitu merubah nilai tonase tersebut menjadi tekanan.

$$P_{\text{aktual}} = \frac{m \cdot g}{A}$$
$$P_{\text{aktual}} = \frac{16000000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2}{1600.02 \text{ m}^2}$$
$$P_{\text{aktual}} = 97998.78 \text{ N/m}^2$$
$$= 98.00 \text{ kN/m}^2$$

Setelah itu jumlahkan Tekanan yang didapat dengan Beban Alat Excavator (kN/m^2) sebagai nilai *Distribution Load* yang dijadikan parameter *input* pada *Rocscience Slide*. Maka nilai *Distribution Load* yang diperoleh pada kondisi simulasi 1 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Distribution Load} &= \text{Tekanan (kN/m}^2\text{)} + \text{Beban Alat (kN/m}^2\text{)} \\ &= 98.00 \text{ kN/m}^2 + 45.09 \text{ kN/m}^2 \\ &= 143.09 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka jumlah nilai *Distribution Load* pada kondisi simulasi 1 sebesar 143.09 kN/m^2 .

Simulasi 2

Pada simulasi 2 diasumsikan jumlah muatan yang tertampung di Area *Heap Leach Pad* sebesar 11000 m^3 maka jika dihitung menggunakan rumus Tonase diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tonase Aktual} &= 11000 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ kg/m}^3 \\ &= 17600 \text{ ton} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah tonase maka langkah selanjutnya yaitu merubah nilai tonase tersebut menjadi tekanan.

$$P_{\text{aktual}} = \frac{m \cdot g}{A}$$
$$P_{\text{aktual}} = \frac{17600000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2}{1600.02 \text{ m}^2}$$
$$P_{\text{aktual}} = 107798.65 \text{ N/m}^2$$
$$= 107.80 \text{ kN/m}^2$$

Setelah itu jumlahkan Tekanan yang didapat dengan Beban Alat Excavator (kN/m^2) sebagai nilai *Distribution Load* yang dijadikan parameter *input* pada *Rocscience Slide*. Maka nilai *Distribution Load* yang diperoleh pada kondisi simulasi 2 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Distribution Load} &= \text{Tekanan (kN/m}^2\text{)} + \text{Beban Alat (kN/m}^2\text{)} \\ &= 107.80 \text{ kN/m}^2 + 45.09 \text{ kN/m}^2 \\ &= 152.89 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka jumlah nilai *Distribution Load* pada kondisi simulasi 2 sebesar 152.89 kN/m².

Simulasi 3

Pada simulasi 3 diasumsikan jumlah muatan yang tertampung di Area *Heap Leach Pad* sebesar 12000 m³ maka jika dihitung menggunakan rumus Tonase diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tonase Aktual} &= 12000 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ kg/m}^3 \\ &= 19200 \text{ ton} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah tonase maka langkah selanjutnya yaitu merubah nilai tonase tersebut menjadi tekanan.

$$\begin{aligned} P_{\text{aktual}} &= \frac{m \cdot g}{A} \\ P_{\text{aktual}} &= \frac{19200000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2}{1600.02 \text{ m}^2} \\ P_{\text{aktual}} &= 117598.53 \text{ N/m}^2 \\ &= 117.60 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah itu jumlahkan Tekanan yang didapat dengan Beban Alat Excavator (Kn/m²) sebagai nilai *Distribution Load* yang dijadikan parameter *input* pada *Rocscience Slide*. Maka nilai *Distribution Load* yang diperoleh pada kondisi simulasi 3 adalah :

$$\begin{aligned} \text{Distribution Load} &= \text{Tekanan (kN/m}^2\text{)} + \text{Beban Alat (kN/m}^2\text{)} \\ &= 117.60 \text{ kN/m}^2 + 45.09 \text{ kN/m}^2 \\ &= 162.69 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka jumlah nilai *Distribution Load* pada kondisi simulasi 3 sebesar 162.69 kN/m².

Seismic Load

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gelombang seismik adalah rambatan energi yang disebabkan karena adanya gangguan didalam kerak bumi. Pada penelitian ini, faktor kegempaan yang digunakan yaitu sesuai dengan SNI 8460:2017 pada daerah Garut, Jawa Barat yang memiliki skala kegempaan berkisar 0,4 – 0,5 g. Menurut (Hynes – Griffin dan Franklin. 1984) nilai (*kh*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini. Rumus ini digunakan dalam menghitung koefisien seismik gempa pada pemodelan.

$$\begin{aligned} kh &= 0,5 \text{ PGA} \\ kh &= 0,5 (0,4) \\ kh &= 0,2 \end{aligned}$$

Kemudian percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik berdasarkan kelas situsnya ditentukan berdasarkan Tabel 4.

Tabel 4. Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F_{pga} dan F_a)
(Sumber : AASHTO, 2012)

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1 S _s ≤ 0,25	PGA ≤ 0,2 S _s = 0,5	PGA ≤ 0,3 S _s ≤ 0,75	PGA ≤ 0,4 S _s ≤ 1	PGA ≤ 0,5 S _s ≤ 1,25
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Berdasarkan tabel diatas faktor amplifikasi yang digunakan yaitu 1,7 dikarenakan pada penelitian ini menggunakan Peta percepatan puncak dibatuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10 % dalam 50 tahun sehingga kategori faktor amplifikasi yang digunakan yaitu pada PGA ≤ 0,2 S_s

= 0,5. Tidak hanya itu, pertimbangan dilakukan juga pada tanah yang digunakan pada analisis ini yaitu Soil yang dikategorikan pada kelas situs sebagai tanah lunak. Setelah mendapatkan nilai koefisien seismik kemudian menentukan nilai koefisien gempa (a). Koefisien gempa dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien seismic (kh) dikalikan dengan nilai faktor amplifikasi (FPGA) seperti pada dibawah ini. Nilai koefisien gempa ini merupakan nilai yang di-input pada program *Rocsience Slide*.

$$\begin{aligned} a &= kh \times F_{PGA} \\ a &= 0,2 \times 1,7 \\ a &= 0,34 \end{aligned}$$

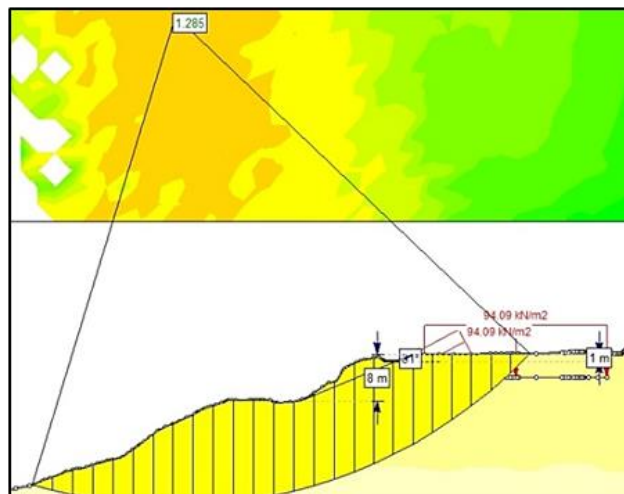
Maka dari itu nilai *Seismic Load* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,34 g.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil komputasi geoteknik. Lereng-lereng yang digunakan pada analisis ini merupakan lereng dinamis. Penggunaan lereng dinamis dengan adanya faktor pembebanan alat dikarenakan pada area *Heap Leach Pad* pada bulan Oktober 2022 terdapat alat yang bekerja yaitu Excavator Komatsu PC-200. Tidak hanya faktor getaran dari alat melainkan dari gempa juga tersedia pada analisis tersebut. Perhitungan analisis komputasi menggunakan metode *Bishop*, *Janbu*, dan *Morgenstern-Price/General Limit Equilibrium*. Setelah dilakukan beberapa analisis dan percobaan maka nilai faktor keamanan yang paling mendekati dengan Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 yaitu metode *Morgenstern-Price/General Limit Equilibrium* karena Metode *Morgenstern-Price* proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan dari setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut.

Sayatan A-A'

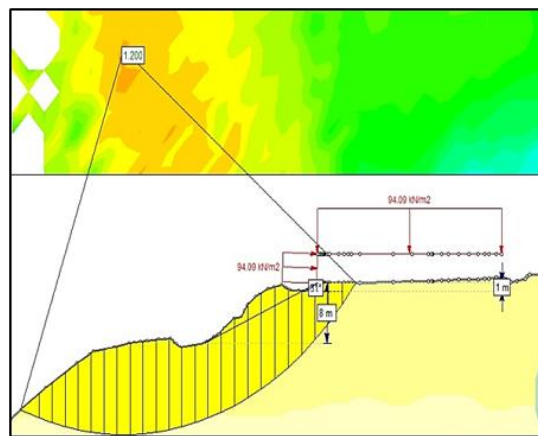
Sayatan A – A' dengan *slope* asli 31° memiliki lebar bagian atas *Pad* sebesar 33 m dan posisi *Pad* berada 8 m lebih tinggi dari area *hauling road*. Pada desain sayatan A – A' adanya faktor gempa sebesar 0.34 g dan nilai *distribution load* sebesar 94.09 kN/m². Untuk lereng Dinamis yang batuanannya tersusun dari soil dan propilitik dengan volume timbunan 5000 m³ didapatkan FK sebesar 1.2. Berdasarkan nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*) KEPMEN ESDM nomor 1827 tahun 2018 maka *Heap Leach Pad* dengan kondisi Dinamis pada Proyek tambang XX, Jawa Barat dengan geometri dan parameter diatas dinyatakan aman. Dalam analisa lereng ini, digunakan metode *circular*, karena material yang tersusun pada *Heap Leach Pad* terdiri dari Soil. Menurut teori metode *circular* digunakan untuk tanah.



Gambar 5. Analisis sayatan A-A' pada lereng *Heap Leach Pad* dengan Volume 5000 m³

Sayatan B-B'

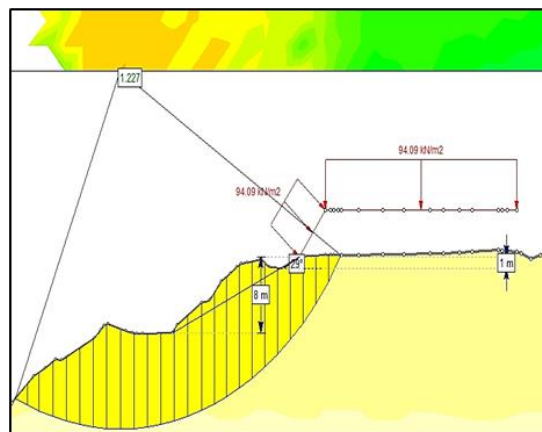
Sayatan B-B' dengan *slope* asli 31° memiliki lebar bagian atas *Pad* sebesar 30 m dan posisi *Pad* berada 8 m lebih tinggi dari area *hauling road*. Pada desain sayatan B-B' adanya faktor gempa sebesar 0.34 g dan nilai *distribution load* sebesar 94.09 kN/m^2 . Untuk lereng Dinamis yang batuanannya tersusun dari soil dan propilitik dengan volume timbunan 5000 m^3 didapatkan FK sebesar 1.285. Berdasarkan nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*) KEPMEN ESDM nomor 1827 tahun 2018 maka *Heap Leach Pad* dengan kondisi Dinamis pada Proyek tambang XX, Jawa Barat dengan geometri dan parameter diatas dinyatakan aman. Dalam analisa lereng ini, digunakan metode *circular*, karena material yang tersusun pada *Heap Leach Pad* terdiri dari Soil. Menurut teori metode *circular* digunakan untuk tanah atau material yang bersifat seperti tanah.



Gambar 6. Analisis sayatan B-B' pada lereng Heap Leach Pad dengan Volume 5000 m^3

Sayatan C-C'

Sayatan C-C' dengan *slope* asli 29° memiliki lebar bagian atas *Pad* sebesar 33 m dan posisi *Pad* berada 8 m lebih tinggi dari area *hauling road*. Pada desain sayatan C-C' adanya faktor gempa sebesar 0.34 g dan nilai *distribution load* sebesar 94.09 kN/m^2 . Untuk lereng Dinamis yang batuanannya tersusun dari soil dan propilitik dengan volume timbunan 5000 m^3 didapatkan FK sebesar 1.227. Berdasarkan nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*) KEPMEN ESDM nomor 1827 tahun 2018 maka *Heap Leach Pad* dengan kondisi Dinamis pada Proyek tambang XX, Jawa Barat dengan geometri dan parameter diatas dinyatakan aman. Dalam analisa lereng ini, digunakan metode *circular*, karena material yang tersusun pada *Heap Leach Pad* terdiri dari Soil. Menurut teori metode *circular* digunakan untuk tanah atau material yang bersifat seperti tanah.



Gambar 7. Analisis sayatan C-C' pada lereng Heap Leach Pad dengan Volume 5000 m^3

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada kondisi Aktual

Nama	Ground Pressure	Seismic Load (g)	Metode Perhitungan	Nilai Faktor Keamanan
	Exca Komatsu PC 200-7 (Kn/m ²)			
Pad 1	45.09	0.34	Bishop	0.004
			Janbu	1.021
			GLE/ Morgenstern Price	1.2
Pad 2	45.09	0.34	Bishop	0.015
			Janbu	1.279
			GLE/ Morgenstern Price	1.285
Pad 3	45.09	0.34	Bishop	0.003
			Janbu	1.213
			GLE/ Morgenstern Price	1.227

Analisa Kestabilan Lereng sayatan A-A'

Analisa dilakukan dengan ketinggian *Pad* 1 m dan kemiringan lereng 31°. Di bawah ini merupakan hasil komputasi geoteknik terkait penambahan jumlah volume pada sayatan A-A'.

Tabel 6 Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada sayatan A-A'

Sayatan	Seismic Load (g)	Ground Pressure Excavator (kN/m ²)	Volume Timbunan (m ³)	Distribution Load (kN/m ²)	Faktor Keamanan	
					Nilai	Keterangan
A-A'	0.34	45.09	10000	143.09	1.108	Aman
			11000	152.89	1.014	Tidak Aman
			12000	162.69	1.004	Tidak Aman
			13000	172.49	0.996	Tidak Aman
			14000	182.29	0.992	Tidak Aman

Dari tabel diatas dapat diketahui *Distribution Load* merupakan Gaya berat yang bekerja pada permukaan lereng tersebut. Semakin bertambahnya kapasitas *Heap Leach Pad* maka dapat mempengaruhi besarnya nilai *Distribution Load*. *Distribution Load* tersebut sangat mempengaruhi Gaya penggerak sehingga gaya penahan pada lereng tersebut semakin kecil dan dapat disimpulkan bahwa pada volume 11000 m³, 12000 m³, 13000 m³, dan 14000 m³ lereng mengalami kelongsoran.

Berdasarkan hasil komputasi geoteknik tersebut pada lereng yang tidak aman (mengalami kelongsoran) maka dilakukannya pembuatan rekomendasi dengan membuat geometri baru yang dimana ketinggian berkurang 0.5 meter dari kondisi aktual. Sehingga geometri lereng untuk sayatan A-A' memiliki sudut kemiringan 32° dan ketinggian lereng 0.5 m dengan permodelan geometri diperoleh Nilai FK sebagai berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada permodelan sayatan A-A'

Sayatan	Seismic Load (g)	Ground Pressure Excavator (kN/m ²)	Volume Timbunan (m ³)	Distribution Load (kN/m ²)	Faktor Keamanan	
					Nilai	Keterangan
A-A'	0.34	45.09	10000	143.09	1.108	Aman
			11000	152.89	1.404	Aman
			12000	162.69	1.398	Aman
			13000	172.49	1.394	Aman
			14000	182.29	1.390	Aman

Dengan pengurangan tinggi lereng tersebut mengakibatkan kemiringan lereng semakin besar sehingga membentuk *angle of repose* tersebut sehingga faktor keamanan pada lereng tersebut

semakin besar. Pada hal ini juga membuktikan bahwa tinggi lereng sangat mempengaruhi besar/kecilnya nilai faktor keamanan. Semakin tinggi lereng dapat membuat gaya tahan geser/*moment equilibrium* menjadi semakin kecil. Maka dari itu, perlunya memperkecil tinggi lereng agar mendapatkan nilai faktor keamanan yang besar.

Analisa Kestabilan Lereng sayatan B-B'

Analisa dilakukan dengan ketinggian *Pad* 1 m dan kemiringan lereng 31°. Dibawah ini merupakan hasil komputasi geoteknik terkait penambahan jumlah volume pada sayatan B-B'.

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada sayatan B-B'

Sayatan	Seismic Load (g)	Ground Pressure Excavator (kN/m ²)	Volume Timbunan (m ³)	Distribution Load (kN/m ²)	Faktor Keamanan	
					Nilai	Keterangan
B-B'	0.34	45.09	10000	143.09	1.256	Aman
			11000	152.89	1.257	Aman
			12000	162.69	1.251	Aman
			13000	172.49	1.246	Aman
			14000	182.29	1.24	Aman

Berdasarkan tabel diatas bahwasannya lereng dalam keadaan aman sehingga tidak terjadinya kelongsoran pada sayatan B-B'. Longsoran yang terjadi diasumsikan sebagai longsoran busur karena longsoran yang paling umum terjadi di *Heap Leach Pad* adalah longsoran tipe rotasi. Dikarenakan pada sayatan B-B' tidak terjadi kelongsoran maka tidak diperlukannya permodelan geometri.

Analisa Kestabilan Lereng sayatan C-C'

Analisa dilakukan dengan ketinggian *Pad* 1 m dan kemiringan lereng 29°. Dibawah ini merupakan hasil komputasi geoteknik terkait penambahan jumlah volume pada sayatan C-C'.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Faktor Keamanan pada sayatan C-C'

Sayatan	Seismic Load (g)	Ground Pressure Excavator (kN/m ²)	Volume Timbunan (m ³)	Distribution Load (kN/m ²)	Faktor Keamanan	
					Nilai	Keterangan
C-C'	0.34	45.09	10000	143.09	1.135	Aman
			11000	152.89	1.124	Aman
			12000	162.69	1.115	Aman
			13000	172.49	1.105	Aman
			14000	182.29	1.102	Aman

Berdasarkan tabel diatas bahwasannya lereng dalam keadaan aman sehingga tidak terjadinya kelongsoran pada sayatan C-C'. Nilai Faktor Keamanan (FK) pada tabel diatas umumnya berada dibawah angka FK pada sayatan sebelumnya dikarenakan *semakin kecil nilai* kemiringan lereng *faktor keamanan semakin kecil*. Dikarenakan pada sayatan C-C' tidak terjadi kelongsoran maka tidak diperlukannya permodelan geometri.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut, Pada hasil analisis lereng sayatan A-A' sebelum dilakukannya rekomendasi pada volume timbunan 11000 m³ diperoleh nilai faktor keamanan 1.014, berdasarkan Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang berdasarkan KEPMEN ESDM RI NO. 1827 K/30/MEM/2018 lereng dalam keadaan (tidak aman) atau mengalami kelongsoran. Kemudian setelah dilakukan rekomendasi diperoleh nilai faktor keamanan 1.404 (aman) sehingga lereng dalam keadaan aman. Berdasarkan hasil analisis dengan



menggunakan tiga metode perhitungan yaitu *Bishop*, *Janbu*, dan *GLE/Morgenstern Price* maka metode yang paling sesuai dengan analisis kestabilan lereng ini adalah *GLE/Morgenstern Price* karena kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan. Dalam penelitian ini dilakukan rekomendasi untuk lereng *Heap Leach Pad* pada sayatan A-A' dimana pada kondisi aktual mengalami kelongsoran kemudian dilakukan rekomendasi tinggi lereng menjadi 0.5 m. Perbandingan pada geometri awal dan setelah dilakukan rekomendasi terlihat signifikan pada ketinggian lereng, yang sebelumnya pada lereng *Heap Leach Pad* memiliki ketinggian 1 m berubah menjadi 0.5 m. Langkah – langkah mitigasi dalam rangka meminimalisir resiko yang dapat meningkatkan nilai Faktor Keamanan (FK) yaitu memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak dengan mengubah bentuk lereng dan memperbesar gaya melawan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Proyek tambang XX yang berlokasi di Provinsi Jawa Barat. atas segala bantuannya baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, Lee, Sharma & Boyce, 2001. Slope Stability and Stabilization Methods. 2nd Edition. New York: A Wiley-Interscience Publication. Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Alzwar, M., Akbar, N., dan Bachri, S., 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa, skala 1:100.000. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Antam Unit Geomin., 2012. Laporan Penelitian Eksplorasi Antam: Papandayan. (tidak dipublikasikan).
- Antam Unit Geomin., 2021. Technical Report IUP OP Papandayan: Papandayan. Indonesia (tidak dipublikasikan).
- Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Asikin. S., 1986, "Geologi Struktur Indonesia", Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Audah, M Taufik Toha, Djuki Sudarmono. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Slope Mass Rating Dan Metode Stereografis Pada Pit Berenai PT. Dwinad Nusa Sejahtera (Sumatera Copper And Gold) Kabupaten Musi Rawas Utara Provinsi Sumatera Selatan. Jurusan Teknik Pertambangan, UNSRI, Palembang, 2017.
- Bateman, A.M., 1981. Mineral Deposit 3rd edition. Jhon Wiley and Sons: New York.
- Bemmelen, R.W. Van., 1949, The Geology Indonesia, The Hague Martinus
- Bjerrum, L., 1966. Secondary settlements of structures subjected to large variations in live load. Proc. Symp. Rheol. and Soil Mech., Grenoble, 1964. International Union of Theoretical and Applied Mechazics, pp. 460-471.
- DM Wood, Andrzej Drescher, Muniram Budhu. 1979. Geotechnical Testing Journal. Vol 2. Issue 4. Pages 211-222. ASTM International.
- Dzakir, L.O., Rai, M.A., Widodo, N.P., 2021. Analysis of Reinforcement System (Rock Bolt and Shotcrete) Effect on The Pillars Strength in Underground Mining Using Physical Models Testing in Laboratory. Jurnal Geomine, 9(1): 73-87.



- Gafoer, dkk., 1992. Geologi Lembar Garut-Pameungpeuk, Jawa Barat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung, Indonesia.
- Hedenquist, J.W. et. Al. 1985. The importance of CO₂ on freezing point measurements of fluid inclusions; evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition. *Economic Geology*, 80(5), 1379–1406.
- Hidayah, A., Paharuddin, P. and Massinai, M.A. 2017. Analisis Rawan Bencana Lonsor Menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) Di Kabupaten Toraja Utara. *Jurnal Geoelebes*, 1(1), pp.16753-22700-9644-76432 <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v1i1.1772>
- Hoek, E., dan Bray, J. W., 1981 *Rock Slope Engineering*. 3rd ed. Institute of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng Div., ASCE* 106(GT9), 1013-1035.
- Karyono, Ir., MT., 2004, "Kemantapan Lereng Batuan" Diklat Perencanaan Tambang Terbuka, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Islam Bandung.
- K. *Terzaghi*, "Principles of Soil Mechanics I—Phenomena of Cohesion of Clays," *Engineering News-Record*, Vol. 95, No. 19, 1925, pp. 742-746.
- Martodjojo, Soejono. (1984). "Evolusi Cekungan Bogor - Jawa Barat I", Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Menteri ESDM RI. (2018). Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Indonesia.
- NZ Journal of Forestry, New Zealand forest road engineering manual and operators guide February 2013, Vol. 57, No. 4
- Pulunggono dan Soejono Martodjojo. 1994. Perubahan Tektonik Paleogene-Neogene Merupakan Peristiwa Tektonik Penting di Jawa. *Prosiding Geologi dan Geotektonik P. Jawa Sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar*, hal. 33 – 39, UGM, Yogyakarta 1994.
- Romana, M.R. (1993) A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating. In: Hudson, J.A., Ed., *Comprehensive Rock Engineering*, Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Volume 3, 575–600. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042066-0.50029-X>
- State of Nevada, Department of conservation & Natural Resources. 2020. The Nevada Department of Conservation and Natural Resources (NDCNR) : Amerika Serikat.
- Syahril Huda Andriyan, Febri Hirnawan, Yuliad. 2018. *Prosiding Teknik Pertambangan* ISSN: 2460-6499. Stabilisasi Optimal Lereng Timbunan Overburden pada Area | 397 Teknik Pertambangan, Gelombang 2, Tahun Akademik 2017-2018.
- Whitman RV and Bailey W.A, 1967, Use Of Computer For Slope Stability Analysis, *J Soil Mech, Found. Div.*